

# Algoritmy syntaktické analýzy (pomocí CFG)

Vladimír Kadlec, Aleš Horák

E-mail: [hales@fi.muni.cz](mailto:hales@fi.muni.cz)

[http://nlp.fi.muni.cz/poc\\_lingv/](http://nlp.fi.muni.cz/poc_lingv/)

## Obsah:

- Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- Tomitův zobecněný analyzátor LR
- Algoritmus CKY
- Tabulkové analyzátory
- Porovnání jednotlivých algoritmů

# Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s  $\epsilon$ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- Tomitův zobecněný algoritmus LR (*generalized LR*)
- algoritmus CKY – *Cocke, Kasami, Younger*;
- tabulková (chart) analýza (*Chart Parsing*):
  - shora dolů (*top-down*);
  - zdola nahoru (*bottom-up*);
  - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

# Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s  $\epsilon$ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- Tomitův zobecněný algoritmus LR (*generalized LR*)
- algoritmus CKY – *Cocke, Kasami, Younger*;
- tabulková (*chart*) analýza (*Chart Parsing*):
  - shora dolů (*top-down*);
  - zdola nahoru (*bottom-up*);
  - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

# Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s  $\epsilon$ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- **Tomitův zobecněný algoritmus LR** (*generalized LR*)
- **algoritmus CKY** – *Cocke, Kasami, Younger*;
- **tabulková (chart) analýza** (*Chart Parsing*):
  - shora dolů (*top-down*);
  - zdola nahoru (*bottom-up*);
  - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

# Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s  $\epsilon$ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- **Tomitův zobecněný algoritmus LR** (*generalized LR*)
- **algoritmus CKY** – *Cocke, Kasami, Younger*;
- **tabulková (chart) analýza** (*Chart Parsing*):
  - shora dolů (*top-down*);
  - zdola nahoru (*bottom-up*);
  - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

# Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s  $\epsilon$ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- **Tomitův zobecněný algoritmus LR** (*generalized LR*)
- **algoritmus CKY** – *Cocke, Kasami, Younger*;
- **tabulková (chart) analýza** (*Chart Parsing*):
  - shora dolů (*top-down*);
  - zdola nahoru (*bottom-up*);
  - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

# Syntaktická analýza

- Vstupy:

- řetězec lexikálních kategorií (preterminálních symbolů)  $a_1 a_2 \dots a_n$

např.: ADJ CONJ ADJ N V PREP N '.'

- bezkontextová gramatika  $G = \langle N, \Sigma, P, S \rangle$ .

- Výstup:

- efektivní reprezentace derivačních stromů.

# Syntaktická analýza

- Vstupy:

- řetězec lexikálních kategorií (preterminálních symbolů)  $a_1 a_2 \dots a_n$

např.: ADJ CONJ ADJ N V PREP N '.'

- bezkontextová gramatika  $G = \langle N, \Sigma, P, S \rangle$ .

- Výstup:

- efektivní reprezentace derivačních stromů.



# Obsah

- 1 Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- 2 Tomitův zobecněný analyzátor LR**
- 3 Algoritmus CKY
- 4 Tabulkové analyzátory
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: *Efficient parsing for natural language*, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**



# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

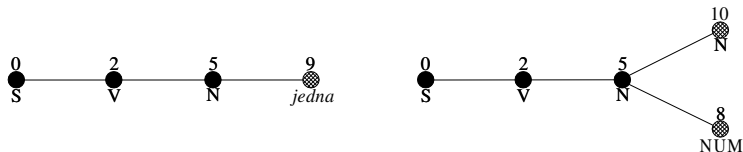
# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

# Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný, jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

## Příklad konfliktu redukce/redukce



| stav | položka                              | akce       | symbol    | další stav |
|------|--------------------------------------|------------|-----------|------------|
| 5    | $CLAUSE \rightarrow V N \bullet NUM$ | shift      | $NUM$     | 8          |
|      | $NN \rightarrow N \bullet N$         |            | $N$       | 10         |
|      | $NUM \rightarrow \bullet jedna$      |            | $jedna$   | 9          |
|      | $N \rightarrow \bullet tramvaj$      |            | $tramvaj$ | 7          |
|      | $N \rightarrow \bullet jedna$        |            |           |            |
| 9    | $NUM \rightarrow jedna \bullet$      | reduce (6) |           |            |
|      | $N \rightarrow jedna \bullet$        | reduce (5) |           |            |

# Obsah

- 1 Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- 2 Tomitův zobecněný analyzátor LR
- 3 Algoritmus CKY**
- 4 Tabulkové analyzátory
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů

# Algoritmus CKY

CNF:  $A \rightarrow BC$   
 $D \rightarrow 'd'$

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**
- Převod libovolné CFG do CNF:

1. přidáme nový kořen  $S_0$ :  $S_0 \rightarrow S$

2. eliminujeme  $\epsilon$ -pravidla:

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

3. eliminujeme jednoduchá pravidla:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

4. rozgenerujeme dlouhá pravidla:

$$A \rightarrow BCD \rightarrow \begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

# Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**
- Převod** libovolné CFG do CNF:

CNF:  $A \rightarrow BC$   
 $D \rightarrow 'd'$

- přidáme **nový kořen**  $S_0$ :
- eliminujeme  **$\epsilon$ -pravidla**:

$S_0 \rightarrow S$

$S \rightarrow Ab \mid B$   
 $A \rightarrow a \mid \epsilon$

$\rightarrow$

$S \rightarrow Ab \mid b \mid B$   
 $A \rightarrow a$

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$A \rightarrow B$   
 $B \rightarrow a \mid CD$

$\rightarrow$

$A \rightarrow a \mid CD$   
 $B \rightarrow a \mid CD$

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$A \rightarrow BCD$

$\rightarrow$

$A \rightarrow BA_1$   
 $A_1 \rightarrow CD$

# Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**

$$\begin{aligned} \text{CNF:} \quad & A \rightarrow BC \\ & D \rightarrow 'd' \end{aligned}$$

- Převod** libovolné CFG do CNF:

1. přidáme **nový kořen**  $S_0$ :

$$S_0 \rightarrow S$$

2. eliminujeme  **$\epsilon$ -pravidla**:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow Ab \mid B \\ A &\rightarrow a \mid \epsilon \end{aligned}$$

$\rightarrow$

$$\begin{aligned} S &\rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A &\rightarrow a \end{aligned}$$

3. eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{aligned} A &\rightarrow B \\ B &\rightarrow a \mid CD \end{aligned}$$

$\rightarrow$

$$\begin{aligned} A &\rightarrow a \mid CD \\ B &\rightarrow a \mid CD \end{aligned}$$

4. rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

$\rightarrow$

$$\begin{aligned} A &\rightarrow BA_1 \\ A_1 &\rightarrow CD \end{aligned}$$



# Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**
- Převod** libovolné CFG do CNF:

$$\begin{array}{l} \text{CNF:} \quad A \rightarrow BC \\ \quad \quad D \rightarrow 'd' \end{array}$$

- přidáme **nový kořen**  $S_0$ :
- eliminujeme  $\epsilon$ -pravidla:

$$S_0 \rightarrow S$$

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array}$$

 $\rightarrow$ 

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

 $\rightarrow$ 

$$\begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

 $\rightarrow$ 

$$\begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

# Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**

$$\text{CNF: } \begin{array}{l} A \rightarrow BC \\ D \rightarrow 'd' \end{array}$$

- Převod** libovolné CFG do CNF:

- přidáme **nový kořen**  $S_0$ :
- eliminujeme  **$\epsilon$ -pravidla**:

$$S_0 \rightarrow S$$

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array}$$

 $\rightarrow$ 

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

 $\rightarrow$ 

$$\begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

 $\rightarrow$ 

$$\begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

# Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**

$$\begin{aligned} \text{CNF: } & A \rightarrow BC \\ & D \rightarrow 'd' \end{aligned}$$

- Převod** libovolné CFG do CNF:

- přidáme **nový kořen**  $S_0$ :
- eliminujeme  $\epsilon$ -pravidla:

$$S_0 \rightarrow S$$

$$\begin{aligned} S &\rightarrow Ab \mid B \\ A &\rightarrow a \mid \epsilon \end{aligned}$$

→

$$\begin{aligned} S &\rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A &\rightarrow a \end{aligned}$$

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{aligned} A &\rightarrow B \\ B &\rightarrow a \mid CD \end{aligned}$$

→

$$\begin{aligned} A &\rightarrow a \mid CD \\ B &\rightarrow a \mid CD \end{aligned}$$

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

→

$$\begin{aligned} A &\rightarrow BA_1 \\ A_1 &\rightarrow CD \end{aligned}$$

## Algoritmus CKY, příklad – zadání

- vstupní gramatika je:

$$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$$
$$X \rightarrow SA$$
$$Y \rightarrow SB$$
$$A \rightarrow a$$
$$B \rightarrow b$$

- vstupní řetězec je  $w = abaaba$ .

## Algoritmus CKY, příklad – zadání

- vstupní gramatika je:

$$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$$
$$X \rightarrow SA$$
$$Y \rightarrow SB$$
$$A \rightarrow a$$
$$B \rightarrow b$$

- vstupní řetězec je  $w = abaaba$ .

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1                |   |   |   |   |   |   |
| 2                |   |   |   |   |   |   |
| 3                |   |   |   |   |   |   |
| 4                |   |   |   |   |   |   |
| 5                |   |   |   |   |   |   |
| 6                |   |   |   |   |   |   |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|------|---|---|---|---|---|
| 1                | S, A |   |   |   |   |   |
| 2                |      |   |   |   |   |   |
| 3                |      |   |   |   |   |   |
| 4                |      |   |   |   |   |   |
| 5                |      |   |   |   |   |   |
| 6                |      |   |   |   |   |   |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2    | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|------|------|---|---|---|---|
| 1                | S, A | S, B |   |   |   |   |
| 2                |      |      |   |   |   |   |
| 3                |      |      |   |   |   |   |
| 4                |      |      |   |   |   |   |
| 5                |      |      |   |   |   |   |
| 6                |      |      |   |   |   |   |



# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2    | 3    | 4 | 5 | 6 |
|------------------|------|------|------|---|---|---|
| 1                | S, A | S, B | S, A |   |   |   |
| 2                |      |      |      |   |   |   |
| 3                |      |      |      |   |   |   |
| 4                |      |      |      |   |   |   |
| 5                |      |      |      |   |   |   |
| 6                |      |      |      |   |   |   |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                |      |      |      |      |      |      |
| 3                |      |      |      |      |      |      |
| 4                |      |      |      |      |      |      |
| 5                |      |      |      |      |      |      |
| 6                |      |      |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    |      |      |      |      |      |
| 3                |      |      |      |      |      |      |
| 4                |      |      |      |      |      |      |
| 5                |      |      |      |      |      |      |
| 6                |      |      |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$

$X \rightarrow SA$

$Y \rightarrow SB$

$A \rightarrow a$

$B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X    |      |      |      |      |
| 3                |      |      |      |      |      |      |
| 4                |      |      |      |      |      |      |
| 5                |      |      |      |      |      |      |
| 6                |      |      |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X    | S, X | Y    | X    |      |
| 3                |      |      |      |      |      |      |
| 4                |      |      |      |      |      |      |
| 5                |      |      |      |      |      |      |
| 6                |      |      |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X    | S, X | Y    | X    |      |
| 3                | S    |      |      |      |      |      |
| 4                |      |      |      |      |      |      |
| 5                |      |      |      |      |      |      |
| 6                |      |      |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2           | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|-------------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B        | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X           | S, X | Y    | X    |      |
| 3                | S    | $\emptyset$ |      |      |      |      |
| 4                |      |             |      |      |      |      |
| 5                |      |             |      |      |      |      |
| 6                |      |             |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2           | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|-------------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B        | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X           | S, X | Y    | X    |      |
| 3                | S    | $\emptyset$ | Y    | S    |      |      |
| 4                |      |             |      |      |      |      |
| 5                |      |             |      |      |      |      |
| 6                |      |             |      |      |      |      |



# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2           | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|-------------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B        | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X           | S, X | Y    | X    |      |
| 3                | S    | $\emptyset$ | Y    | S    |      |      |
| 4                | X    |             |      |      |      |      |
| 5                |      |             |      |      |      |      |
| 6                |      |             |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2           | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|-------------|------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B        | S, A | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X           | S, X | Y    | X    |      |
| 3                | S    | $\emptyset$ | Y    | S    |      |      |
| 4                | X    | S           |      |      |      |      |
| 5                |      |             |      |      |      |      |
| 6                |      |             |      |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1    | 2           | 3           | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|-------------|-------------|------|------|------|
| 1                | S, A | S, B        | S, A        | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y    | X           | S, X        | Y    | X    |      |
| 3                | S    | $\emptyset$ | Y           | S    |      |      |
| 4                | X    | S           | $\emptyset$ |      |      |      |
| 5                |      |             |             |      |      |      |
| 6                |      |             |             |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1           | 2           | 3           | 4    | 5    | 6    |
|------------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|
| 1                | S, A        | S, B        | S, A        | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y           | X           | S, X        | Y    | X    |      |
| 3                | S           | $\emptyset$ | Y           | S    |      |      |
| 4                | X           | S           | $\emptyset$ |      |      |      |
| 5                | $\emptyset$ |             |             |      |      |      |
| 6                |             |             |             |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1           | 2           | 3           | 4    | 5    | 6    |
|------------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|
| 1                | S, A        | S, B        | S, A        | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y           | X           | S, X        | Y    | X    |      |
| 3                | S           | $\emptyset$ | Y           | S    |      |      |
| 4                | X           | S           | $\emptyset$ |      |      |      |
| 5                | $\emptyset$ | X           |             |      |      |      |
| 6                |             |             |             |      |      |      |

# Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$   
 $X \rightarrow SA$   
 $Y \rightarrow SB$   
 $A \rightarrow a$   
 $B \rightarrow b$

$p$  – pozice,  $q$  – délka

| $q \backslash p$ | 1           | 2           | 3           | 4    | 5    | 6    |
|------------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|
| 1                | S, A        | S, B        | S, A        | S, A | S, B | S, A |
| 2                | Y           | X           | S, X        | Y    | X    |      |
| 3                | S           | $\emptyset$ | Y           | S    |      |      |
| 4                | X           | S           | $\emptyset$ |      |      |      |
| 5                | $\emptyset$ | X           |             |      |      |      |
| 6                | S           |             |             |      |      |      |

# Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.

# Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.
- Pro daný vstup délky  $n$  derivujeme **podřetězce** symbolů **délky  $q$**  na **pozici  $p$** , značíme  $w_{p,q}$ ,  $1 \leq p, q \leq n$ .



# Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.
- Pro daný vstup délky  $n$  derivujeme **podřetězce** symbolů **délky  $q$**  na **pozici  $p$** , značíme  $w_{p,q}$ ,  $1 \leq p, q \leq n$ .
- Derivace **řetězců délky 1**,  $A \Rightarrow w_{p,1}$ , je prováděno prohledáváním terminálních pravidel.

# Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.
- Pro daný vstup délky  $n$  derivujeme **podřetězce** symbolů **délky  $q$**  na **pozici  $p$** , značíme  $w_{p,q}$ ,  $1 \leq p, q \leq n$ .
- Derivace **řetězců délky 1**,  $A \Rightarrow w_{p,1}$ , je prováděno prohledáváním terminálních pravidel.
- Derivace **delších řetězců**  $A \Rightarrow^* w_{p,q}$ ,  $q \geq 2$  vyžaduje aby platilo  $A \Rightarrow BC \Rightarrow^* w_{p,q}$ . Tedy z  $B$  derivujeme řetězec délky  $k$ ,  $1 \leq k \leq q$ , a z  $C$  derivujeme zbytek, řetězec délky  $q - k$ . Tzn.  $B \Rightarrow^* w_{p,k}$  a  $C \Rightarrow^* w_{p+k,q-k}$ . Kratší řetězce máme tedy vždy “předpočítané.”

## Algoritmus CKY pokrač.

```

program CKY Parser;
begin
  for  $p := 1$  to  $n$  do  $V[p, 1] := \{A | A \rightarrow a_p \in P\}$ ;
  for  $q := 2$  to  $n$  do
    for  $p := 1$  to  $n - q + 1$  do
       $V[p, q] = \emptyset$ ;
      for  $k := 1$  to  $q - 1$  do
         $V[p, q] =$ 
           $V[p, q] \cup$ 
           $\{A | A \rightarrow BC \in P, B \in V[p, k], C \in V[p + k, q - k]\}$ ;
      od
    od
  od
end

```

složitost CKY je  $O(n^3)$

# Obsah

- 1 Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- 2 Tomitův zobecněný analyzátor LR
- 3 Algoritmus CKY
- 4 Tabulkové analyzátory**
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů

# Tabulkové (chart) analyzátořy

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
  - shora dolů;
  - zdola nahoru;
  - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:  
Sikkel Klaas: *Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm*, 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátořy typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$ , kde:
  - $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě
  - a  $A \rightarrow \alpha \beta$  je pravidlem vstupní gramatiky.

# Tabulkové (chart) analyzátoři

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
  - shora dolů;
  - zdola nahoru;
  - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:  
Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátoři typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$ , kde:
  - $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě
  - a  $A \rightarrow \alpha \beta$  je pravidlem vstupní gramatiky.

# Tabulkové (chart) analyzátořy

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
  - shora dolů;
  - zdola nahoru;
  - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:  
Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátořy typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$ , kde:
  - $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě
  - a  $A \rightarrow \alpha \beta$  je pravidlem vstupní gramatiky.

# Tabulkové (chart) analyzátořy

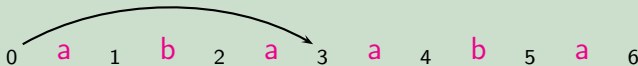
- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
  - shora dolů;
  - zdola nahoru;
  - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:  
Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátořy typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$ , kde:
  - $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě
  - a  $A \rightarrow \alpha \beta$  je pravidlem vstupní gramatiky.



# Tabulkové (chart) analyzátory

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátorů**:
  - shora dolů;
  - zdola nahoru;
  - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:
 

Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátory typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$ , kde:
  - $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě
  - a  $A \rightarrow \alpha\beta$  je pravidlem vstupní gramatiky.

$$[A \rightarrow BC \bullet DE, 0, 3]$$


# Obecný analyzátoř typu “chart”

```

program Chart Parser;
begin
  inicializuj (CHART);
  inicializuj (AGENDA);
  while (AGENDA ≠ ∅) do
    E := vezmi hranu z AGENDA;
    for each (hrana F, která může být vytvořena pomocí
      hrany E a nějaké jiné hrany z CHART) do
      if F ∉ AGENDA and F ∉ CHART and F ≠ E
        then přidej F do AGENDA;
      fi;
    od;
    přidej E do CHART;
  od;
end;

```

složitost tabulkové analýzy je  $O(n^3)$  ( $|Pravidla|$  bereme jako konstantu)

# Varianta shora dolů

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$  přidej hranu  $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (fundamentální pravidlo)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (uzavřené hrany)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (terminál na vstupu)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (predikce)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$  potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \gamma \in P$ , vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, j]$ .

# Varianta shora dolů

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$  přidej hranu  $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (fundamentální pravidlo)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (uzavřené hrany)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (terminál na vstupu)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (predikce)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$  potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \gamma \in P$ , vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, j]$ .

# Varianta shora dolů

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$  přidej hranu  $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

## Iterace – vezmi hranu $E$ z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$  potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \gamma \in P$ , vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$ .

# Varianta shora dolů

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$  přidej hranu  $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$  potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \gamma \in P$ , vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$ .

# Varianta shora dolů

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$  přidej hranu  $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$  potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \gamma \in P$ , vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$ .

# Varianta shora dolů

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$  přidej hranu  $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$  potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \gamma \in P$ , vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$ .



# Varianta shora dolů

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$  přidej hranu  $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$  potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \gamma \in P$ , vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$ .

## Příklad – tabulkové analýzy (typu chart)

## Gramatika:

|                |   |                    |
|----------------|---|--------------------|
| <i>S</i>       | → | <i>CLAUSE</i>      |
| <i>CLAUSE</i>  | → | <i>V OPTPREP N</i> |
| <i>OPTPREP</i> | → | $\epsilon$         |
| <i>OPTPREP</i> | → | <i>PREP</i>        |
| <i>V</i>       | → | <i>jel</i>         |
| <i>PREP</i>    | → | <i>kolem</i>       |
| <i>N</i>       | → | <i>domu</i>        |
| <i>N</i>       | → | <i>kolem</i>       |

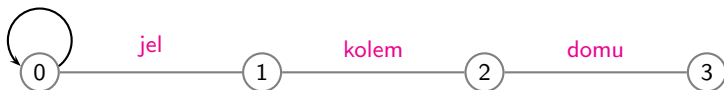
## Věta:

"jel kolem domu" ( $a_1=jel$ ,  $a_2=kolem$ ,  $a_3=domu$ ).

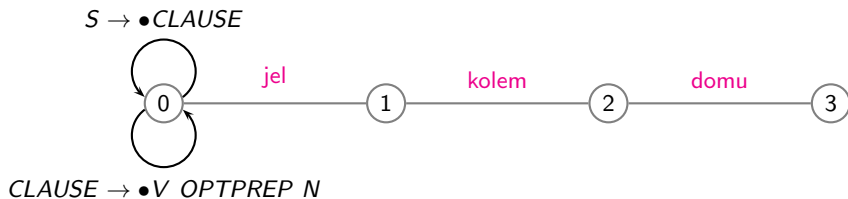
## Příklad – chart po analýze shora dolů



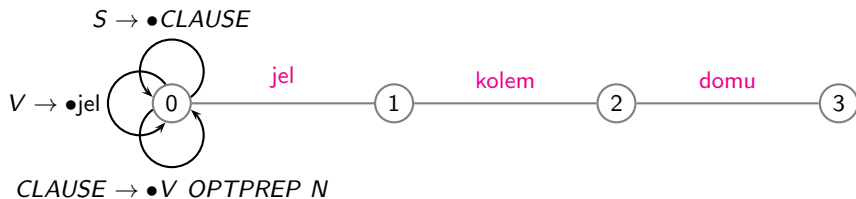
## Příklad – chart po analýze shora dolů

 $S \rightarrow \bullet \text{CLAUSE}$ 

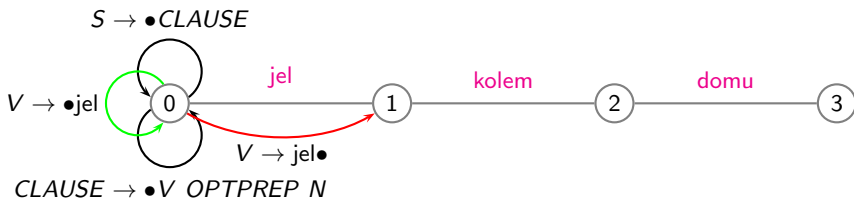
## Přříklad – chart po analýze shora dolů



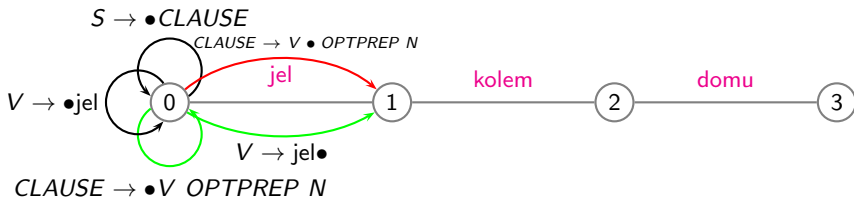
## Přříklad – chart po analýze shora dolů



## Příklad – chart po analýze shora dolů

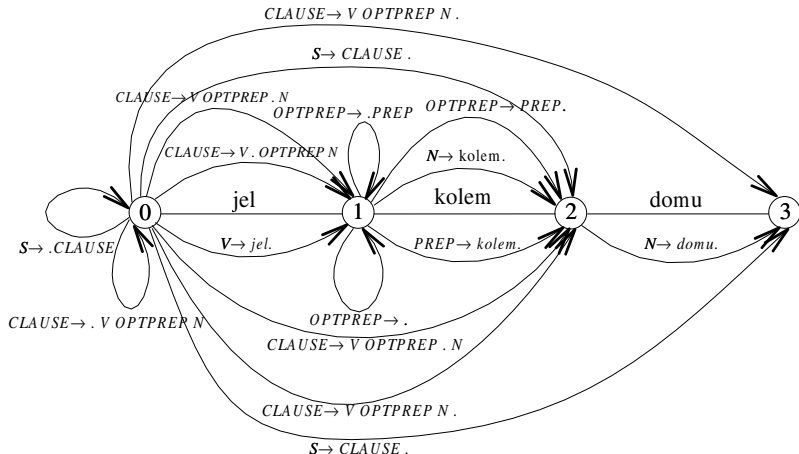


## Přříklad – chart po analýze shora dolů





## Příklad – chart po analýze shora dolů



# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .

# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .

# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (fundamentální pravidlo)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$ .
- (uzavřené hrany)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$ .
- (terminál na vstupu)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (predikce)* pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha_\bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .

# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

## Iterace – vezmi hranu $E$ z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .

# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .

# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .

# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .



# Varianta zdola nahoru

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$  přidej hranu  $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*uzavřené hrany*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$ .
- (*terminál na vstupu*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$ .
- (*predikce*) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow A \gamma$  vstupní gramatiky vytvoř hranu  $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$ .

# Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.  
 Například pravidlo  $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$  může mít hlavy  $V, PREP, N$ .
- Epsilon pravidlo má hlavu  $\epsilon$ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$ , kde  $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě a  $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$  je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v  $\beta$ .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

# Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.

Například pravidlo  $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$  může mít hlavy  $V, PREP, N$ .

- Epsilon pravidlo má hlavu  $\epsilon$ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$ , kde  $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě a  $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$  je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v  $\beta$ .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

# Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.  
 Například pravidlo  $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$  může mít hlavy  $V, PREP, N$ .
- Epsilon pravidlo má hlavu  $\epsilon$ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$ , kde  $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě a  $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$  je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v  $\beta$ .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

# Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.  
 Například pravidlo  $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$  může mít hlavy  $V, PREP, N$ .
- Epsilon pravidlo má hlavu  $\epsilon$ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$ , kde  $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě a  $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$  je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v  $\beta$ .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

# Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.  
 Například pravidlo  $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$  může mít hlavy  $V, PREP, N$ .
- Epsilon pravidlo má hlavu  $\epsilon$ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice  $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$ , kde  $i, j$  jsou celá čísla,  $0 \leq i \leq j \leq n$  pro  $n$  slov ve vstupní větě a  $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$  je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v  $\beta$ .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$  ( $a_i$  je hlavou pravidla) přidej hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

*Je tato inicializace v pořádku?*

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné  $\epsilon$  ani žádný terminál jako hlava)  
Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$  ( $a_i$  je hlavou pravidla) přidej hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

*Je tato inicializace v pořádku?*

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné  $\epsilon$  ani žádný terminál jako hlava)  
Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*



# Analyzátoř řízený hlavou pravidla

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$  ( $a_i$  je hlavou pravidla) přidej hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

*Je tato inicializace v pořádku?*

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné  $\epsilon$  ani žádný terminál jako hlava)  
Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$  ( $a_i$  je hlavou pravidla) přidej hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

*Je tato inicializace v pořádku?*

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné  $\epsilon$  ani žádný terminál jako hlava)  
 Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla

## Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$  přidej hrany  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$ ,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$ , ...,  $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$  do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$  ( $a_i$  je hlavou pravidla) přidej hranu  $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$  do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

*Je tato inicializace v pořádku?*

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné  $\epsilon$  ani žádný terminál jako hlava)*  
 Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- a<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu:  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ ,
- a<sub>2</sub>) pro  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- b<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ .
- b<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- c<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$ .
- c<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$ .
- d) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$  ve vstupní gramatice vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$  (symbol  $A$  je hlavou pravidla).

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- a<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu:  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ ,
- a<sub>2</sub>) pro  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- b<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ .
- b<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- c<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$ .
- c<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$ .
- d) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$  ve vstupní gramatice vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$  (symbol  $A$  je hlavou pravidla).

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- a<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu:  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ ,
- a<sub>2</sub>) pro  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- b<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ .
- b<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- c<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$ .
- c<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$ .
- d) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$  ve vstupní gramatice vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$  (symbol  $A$  je hlavou pravidla).

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- a<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu:  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ ,
- a<sub>2</sub>) pro  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- b<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ .
- b<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- c<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$ .
- c<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$ .
- d) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$  ve vstupní gramatice vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$  (symbol  $A$  je hlavou pravidla).

# Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- a<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu:  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ ,
- a<sub>2</sub>) pro  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- b<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ .
- b<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- c<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$ .
- c<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$ .
- d) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$  ve vstupní gramatice vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$  (symbol  $A$  je hlavou pravidla).



# Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

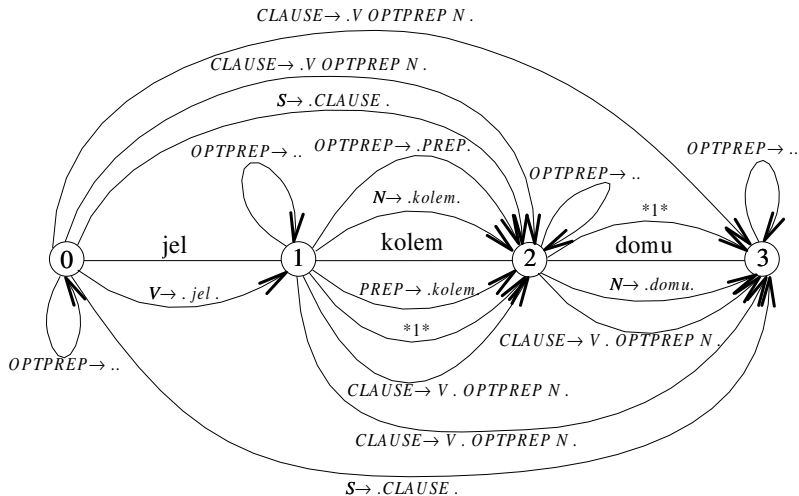
- a<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu:  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ ,
- a<sub>2</sub>) pro  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- b<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ .
- b<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- c<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$ .
- c<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$ .
- d) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$  ve vstupní gramatice vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$  (symbol  $A$  je hlavou pravidla).

# Analyzátor řízený hlavou pravidla pokrač.

**Iterace** – vezmi hranu  $E$  z agendy a pak:

- a<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ , potom pro každou hranu:  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ ,
- a<sub>2</sub>) pro  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- b<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$ .
- b<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ , potom pro každou hranu  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$  v chartu vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$ .
- c<sub>1</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$ .
- c<sub>2</sub>) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$ , potom vytvoř hranu  $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$ .
- d) pokud je  $E$  ve tvaru  $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$ , potom pro každé pravidlo  $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$  ve vstupní gramatice vytvoř hranu  $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$  (symbol  $A$  je hlavou pravidla).

## Příklad – chart po analýze řízené hlavou pravidla



# Porovnání jednotlivých algoritmů

